MANUALE D'ISTRUZIONE

PER L'USO DEL TRANSTEST 662 I.C.E.

Modello Brevettato

PER LA PROVA DEI TRANSISTORS

E DEI DIODI

I. C. E.

Industria Costruzioni Elettromeccaniche

MILANO (ITALY)

Prova Transistor e prova Diodi
TRANSTEST 662 BREVETTATO
Dimensioni: mm. 126 x 85 x 28 - Peso: grammi 150

MANUALE D'ISTRUZIONE

PER L'USO DEL TRANSTEST 662 I. C. E.

Modello Brevettato

PER LA PROVA DEI TRANSISTORS

E DEI DIODI

I. C. E.

Industria Costruzioni Elettromeccaniche

MILANO (ITALY)

TRANSTEST 662 I.C.E.

Il Transtest ICE qui descritto è stato progettato con lo scopo di fornire uno strumento preciso, molto versatile ed estremamente funzionale che consente alle innumerevoli schiere di elettro-tele-radio-tecnici ed alle industrie del ramo di utilizzare per il controllo dei diodi e transistori di piccola, media ed alta potenza il nostro conosciutissimo ed universalmente apprezzato Supertester 680/C.
Il Transtest ICE però può anche essere impiegato unitamente a qualsiasi altro Tester di buona sensibilità e precisione, tenendo presente che la precisione dei controlli e delle misure effettuabili è, come si vedrà, soprattutto in funzione dell'esattezza dello strumento impiegato.

MISURE EFFETTUABILI

Le misure effettuabili con il Transtest 662 ICE sono molteplici e qui sinteticamente descritte:

Transistor
- **Icbo (Ico)**
- **Iebo (Ieo)**
- **Iceo**
- **Ices**
- **Icer**
- **Vce sat**
- **Vbe**
- **h FE (β)**

Diodi
- **V f**
- **I r**

Per il tecnico non ancora approfondito in questo ramo, desideriamo qui meglio chiarire il significato dei sopradescritti simboli affinchè possa farsene una concezione chiara e precisa:

Icbo (Ico) = corrente continua nel collettore quando la giunzione collettore-base è inversamente polarizzata con circuito di emettitore aperto.

Iebo (Ieo) = corrente continua nell'emettitore quando la giunzione emettitore-base è inversamente polarizzata con circuito di collettore aperto.

Iceo = corrente continua nel collettore quando la giunzione di collettore è inversamente polarizzata con circuito di base aperto.

Ices = corrente continua nel collettore quando la giunzione di collettore è inversamente polarizzata con base cortocircuitata con l'emettitore.

Icer = corrente continua nel collettore quando la giunzione di collettore è inversamente polarizzata, con resistore collegato tra base ed emettitore.

Vce Sat = tensione continua tra collettore ed emettitore quando il transistore si trova in saturazione ad una determinata corrente di collettore.

Vbe = tensione continua tra base ed emettitore quando il collettore si trova in saturazione per una determinata corrente di base.

h fe (β) = coefficiente statico di amplificazione di corrente con circuito ad emettitore comune $h\,fe = \frac{Ic}{Ib}$

V f = tensione ai capi di un diodo quando questo è percorso da una determinata corrente continua nel senso diretto.

I r = corrente continua attraverso un diodo quando viene sottoposto ad una tensione determinata che lo polarizza inversamente.

ELEMENTI SULLA COSTITUZIONE DEI SEMICONDUTTORI

Riteniamo opportuno accennare brevemente alcuni elementi fondamentali sulla costituzione dei semiconduttori (diodi transistor) onde facilitare la comprensione dei fenomeni fisici, da parte del tecnico meno approfondito o di chi per la prima volta si accinga ad eseguire misure con il nostro TRANSTEST.

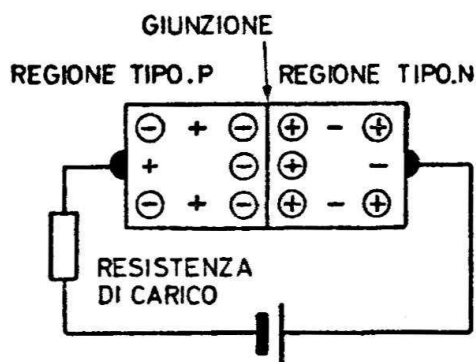
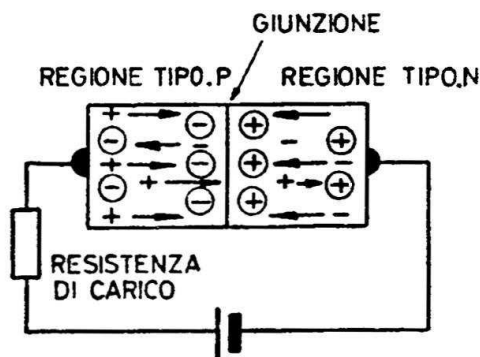
CONDUZIONE

La costruzione dei diodi e dei transistori richiede come elemento fondamentale un cristallo di buona conducibilità che si trova purificando al massimo grado del germanio o del silicio.
La conducibilità è incrementata tanto dal riscaldamento del cristallo quanto dall'aggiunta di altri tipi di materiali, comunemente chiamati impurità, durante la formazione del cristallo medesimo.
Il riscaldamento del cristallo causa una vibrazione degli atomi che lo formano. Qualora un elettrone di valenza acquista sufficiente energia (energia di ionizzazione) esso abbandona il suo atomo e si sposta attraverso il cristallo; l'atomo rimasto privo di un elettrone assume a sua volta una carica positiva corrispondente in valore assoluto a quello dell'elettrone che lo ha lasciato e si trova nella condizione di ricevere un elettrone da un atomo vicino. Quest'ultimo a sua volta si troverà nelle condizioni dell'atomo citato in precedenza, ricevendo dal vicino l'elettrone mancato e così via.
Risulta evidente che ogni elettrone libero comporta una deficienza negativa che si muove attraverso il cristallo contemporaneamente all'elettrone che l'ha causato.
Convenzionalmente si considera questa deficienza negativa come particelle a carica positiva moventisi in senso opposto denominate VUOTI.
Ogni volta che un elettrone lascia il suo atomo genera nello stesso tempo un vuoto; questo fenomeno è chiamato: «generazione termica di coppia vuoto-elettrone».
Appena un elettrone libero trova un vuoto lo occupa; in tal modo viene

a cessare la carica libera corrispondente. Questo fenomeno si chiama « ricombinazione ».
L'incremento della conducibilità per aggiunta di impurità può avvenire in due modi: aggiungendo arsenico (oppure fosforo od antimonio) il quale è un donatore in quanto la sua fascia di valenza dispone di un elettrone in più (5 contro 4 del germanio e silicio) e pertanto avremo elettroni liberi nel cristallo, oppure aggiungendo alluminio (oppure boro, gallio od indio) il quale è un accettatore in quanto la sua fascia di valenza dispone di un elettrone in meno (3 contro 4) che genera vuoti liberi nel cristallo.
Gli atomi donatori perdendo un elettrone e determinandone uno libero assumono una carica positiva ma essi rimangono fissi nel cristallo; così pure gli atomi accettatori i quali acquistando un elettrone e determinando un vuoto libero assumono una carica negativa ma rimangono fissi pure loro nel cristallo.
Nel primo caso il cristallo, per la presenza di elettroni liberi, è chiamato di tipo « N ». Nel secondo caso, per la presenza di vuoti liberi, è chiamato di tipo « P ».

DIODI

Se nella medesima struttura di un cristallo viene formata una regione di tipo « N » e una regione di tipo « P », si ha un diodo.
La zona tra le due regioni è chiamata « giunzione ».
Il terminale collegato alla zona « P » è chiamato anodo.
Il terminale collegato alla zona « N » è chiamato catodo.
Quando all'anodo viene applicato un potenziale negativo rispetto al catodo, esso viene inversamente polarizzato: in questo caso i vuoti della zona « P » vengono attratti verso il terminale anodico allontanandosi nello stesso tempo dalla giunzione, mentre gli elettroni della regione « N » sono attratti verso il terminale catodico allontanandosi a loro volta dalla giunzione. Di conseguenza nessun portatore può circolare attraverso la giunzione e perciò nessuna corrente attraversa il diodo, salvo una

piccola corrente di dispersione generata termicamente negli atomi più prossimi alla giunzione stessa.

Esiste però una regione prossima alla giunzione denominata « depletion layer » nella quale non ci sono portatori.

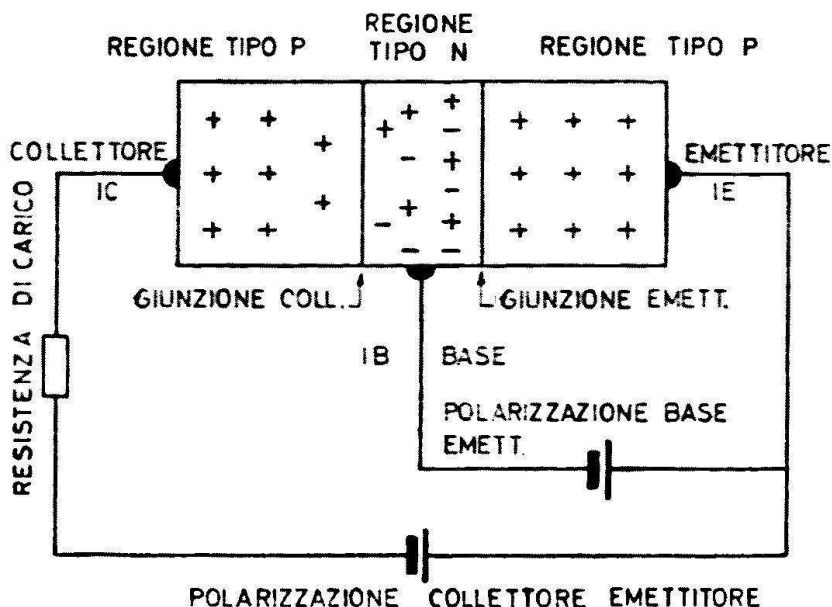
Le cariche degli atomi donatori e degli accettatori generano in questa regione una tensione eguale ed opposta a quella applicata tra anodo e catodo.

Aumentando la tensione applicata si raggiungerà un punto dove gli elettroni che attraversano per effetto termico la giunzione, acquisteranno un'energia sufficiente a produrre per collisione la liberazione di coppie vuoti-elettroni (avalance multiplication). La tensione sotto la quale avviene il fenomeno di cui sopra è chiamato « avalance voltage » oppure « breakdown voltage » della giunzione.

Se la tensione viene ulteriormente aumentata oltre il breakdown, una forte corrente circolerà attraverso la giunzione e, se non limitata da resistenze esterne, essa potrà causare la distruzione del diodo.
Quando all'anodo del diodo viene applicata una tensione positiva rispetto al catodo, il diodo è direttamente polarizzato. In questo caso i vuoti spinti dalla tensione positiva esterna, come pure gli elettroni spinti dalla tensione negativa, si ricombinano attraverso la giunzione. Ne risulta che l'applicazione di una pur debole tensione determina nel diodo una notevole corrente.

TRANSISTOR

Un transistor **P-N-P** è formato da una sottile regione di tipo « N » tra due regioni di tipo « P »; questa regione centrale è denominata « base » ed il suo spessore non supera i 2 centesimi di millimetro.
Una giunzione è chiamata « giunzione di collettore » e l'altra « giunzione di emettitore ». Nella maggior parte delle applicazioni, i transistor sono usati con collegamento ad emettitore comune dove la corrente del carico fluisce attraverso l'emettitore ed il collettore, mentre la corrente di controllo fluisce attraverso l'emettitore e la base. Normalmente la giunzione di collettore è polarizzata inversamente per mezzo della tensione di alimentazione, mentre la giunzione di emettitore è polarizzata direttamente tramite la tensione di base **Vbe.**
Come nel caso del diodo, i vuoti fluiscono attraverso la giunzione di emettitore polarizzata direttamente e vengono iniettati nella regione di base. Raggiunta la regione di base, i vuoti si diffondono venendo raccolti nella regione di collettore, dalla quale fluiscono attraverso il circuito esterno. Pertanto le operazioni nel transistor si distinguono in:
operazione di iniezione,
operazione di diffusione,
operazione di raccolta.
Analizzando il transistor secondo il principio della **neutralità della carica spaziale**, risulta evidente che la corrente di collettore è controllata per

mezzo della carica negativa (concentrazione di elettroni) nella regione di base. Come la tensione di base **Vbe** viene aumentata, la carica negativa nella stessa regione è incrementata e questa a sua volta permette un equivalente incremento di vuoti fluenti dall'emettitore al collettore attraverso la regione di base.

In un transitor ideale basterebbe dare un breve impulso di corrente per stabilire la carica negativa richiesta, dopo di che la corrente al collettore continuerebbe a fluire indefinitivamente.
La corrente di collettore potrebbe essere interdetta mediante un breve impulso positivo nella base, annullante la precedente carica negativa che l'aveva determinata. In realtà questo non avviene per varie limitazioni fondamentali. Alcuni elettroni della regione di base fluiscono attraverso la giunzione di emettitore ed alcuni combinano con i vuoti nella regione di base. Per queste ragioni è necessario fornire una corrente alla base per far fronte a quelle perdite. Il rapporto tra la corrente di collettore

e la corrente di base è definito come « guadagno di corrente » del transistor: **h fe = Ic/Ib.**

Per un segnale in corrente alternata il guadagno di corrente è β = **h fe = ic/ib.**

Il rapporto tra la corrente alternata di collettore e la corrente alternata di emettitore è indicato α = **hfb = ic/ie.**

Quando un transistor è usato in alta frequenza, la limitazione fondamentale è determinata dal tempo impiegato dai portatori di cariche a diffondersi attraverso la regione di base dall'emettitore al collettore. La idoneità di un transistor nei confronti della frequenza è espressa dal termine (alfa cutoff frequency) **(fhfb)** il quale definisce la frequenza alla quale α decresce a 0,707 del suo valore a bassa frequenza.

ESECUZIONE DELLE MISURE

Controllo batteria

Prima di procedere all'esecuzione di qualsiasi misura è opportuno controllare lo stato di carica della batteria interna al Transtest 662 ICE. Predisporre pertanto il Supertester ICE 680 C sulla portata 10 V corrente continua (qualora venisse usato un tester di altra marca, scegliere su questo la portata più adatta alla misura di 3 V - C.C.), innestare a fondo le punte dei puntali nelle boccole del TRANSTEST contrassegnate BATT. TEST « controllo batteria » osservando la polarità e leggere sul tester la tensione della batteria stessa. Qualora detta tensione dovesse risultare inferiore a 2,7 V, procedere alla sostituzione della pila.

Si fa presente che per mezzo di una resistenza di carico fittizia posta internamente al transtest stesso il controllo di tensione della batteria viene eseguito sotto un carico di 50 mA, pertanto per misure richiedenti bassa erogazione di corrente (es. Ico Iceo Ir) può essere tollerata una tensione fino a 2,5 V circa.

E' tuttavia consigliabile cambiare la pila dallo strumento almeno una volta all'anno o quando il controllo batteria dovesse denunciare una

scarsa efficienza in quanto la permanenza nell'astuccio della pila in non perfette condizioni può ossidare il circuito elettrico.
Per relativamente forti erogazioni di corrente (es. controllo del coefficiente di amplificazione dei transistor di potenza) superiori ai 100 mA, si consiglia l'impiego di una robusta batteria esterna (per esempio il tipo 80 della Superpila) ed a tale scopo sono previste sul fronte del pannello due boccole supplementari contrassegnate: « EXT. BATT. » nelle quali vanno innestati i puntali provenienti dalla pila esterna, osservando, evidentemente, la polarità. L'inserzione della batteria esterna esclude automaticamente la pila posta internamente al Transtest 662. Anche nel caso di impiego di pila esterna è consigliabile procedere al controllo di efficienza della stessa, operando come già detto in precedenza per il controllo della pila interna.

Icbo (comunemente abbreviato in Ico)

Predisporre il tester sulla portata 500 μA innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate « **STRUM** » osservando la polarità chiaramente indicata sul TRANSTEST relativa sia ai transistor « **P-N-P** » che agli « **N-P-N** » e predisporre il commutatore del TRANSTEST sulla posizione **Ico.**
Innestare i terminali del transistor nelle rispettive boccole tenendo presente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore.

Osservare lo strumento del tester:

a) se l'indice si sposta oltre il fondo scala il transistor è da ritenersi in corto circuito, a meno che si tratti di uno scadente transistor al germanio di potenza in cui il valore di **Icbo** potrebbe raggiungere anche 1 mA. In questo caso passare col tester sulla portata 5 mA. Se pure in questo caso lo strumento dovesse andare verso il fondo scala, il transistor è da ritenersi inservibile. Qualora lo strumento dovesse invece indicare un valore inferiore a 1/5 di scala, premere il pulsante e leggere l'esatto valore di **Icbo.**

b) se l'indice si sposta tra i 50 μA ed il fondo scala, premere il pulsante e leggere il reale valore di **Icbo**.
c) se l'indice si sposta tra lo zero ed il primo decimo di scala, passare col tester sulla portata 50 μA e leggere il reale valore di **Icbo**. In questo caso l'esclusione della resistenza di protezione mediante la pressione del pulsante, non ha più alcun significato.

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo « Considerazioni sulla Icbo ».

Iebo (comunemente abbreviato in Ieo)

Predisporre il tester sulla portata 500 μA, innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate « **STRUM** » osservando la polarità chiaramente indicata sul TRANSTEST, relativa sia ai transistor « **P-N-P** » che « **N-P-N** ».

Predisporre il commutatore del TRANSTEST sulla posizione **Ieo**.

Innestare i terminali del transistor nelle boccole tenendo presente che per questa particolare misura il terminale di collettore va innestato nella boccola « E », quello di base nella boccola « B » e quello di emettitore nella boccola « C ». Osservare lo strumento seguendo le istruzioni già date per la **Icbo**, tenendo presente che la Iebo è, per la maggior parte dei casi, minore della **Icbo**.

Iceo

Predisporre il tester sulla portata 500 μA, innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate «**STRUM** » osservando la polarità chiaramente indicata sul TRANSTEST relativa sia ai transistor « **P-N-P** » che « **N-P-N** ». Predisporre il commutatore nel transtest sulla posizione **Iceo**.

Innestare i terminali del transistor nelle rispettive boccole, tenendo presente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore.

Osservare lo strumento del Tester:

a) se l'indice si sposta oltre il fondo scala, il transistor, se di piccola potenza od al silicio è da ritenersi in corto circuito e perciò guasto.

Se il transistor è al germanio, di media o grande potenza, di piccola potenza ma con forte coefficente di amplificazione potrebbe facilmente presentare delle **Iceo** superiori a 500 μA (nei transistor di grande potenza al germanio la **Iceo** può raggiungere qualche mA). In questo caso passare sulla portata 5 mA. Se lo strumento dovesse portarsi verso il fondo scala ci possono essere diverse ragioni per ritenere guasto il transistor, altrimenti premere il pulsante e leggere il reale valore di **Iceo**.

b) se l'indice si sposta tra il 50 μA ed il fondo della scala premere il pulsante e leggere il reale valore di **Iceo.**

c) se l'indice si sposta tra lo zero ed il primo decimo di scala passare sulla portata 50 μA e leggere direttamente il valore di **Iceo.** In questo ultimo caso l'esclusione della resistenza di protezione mediante la pressione del pulsante non ha più alcun significato.

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo « Considerazioni sulla Iceo ».

Ices

Predisporre il tester sulla portata 500 μA, innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate **« STRUM »** osservando la polarità chiaramente indicata sul TRANSTEST relativa sia al **P-N-P** che **N-P-N.**

Predisporre il commutatore del TRANSTEST sulla posizione **Iceo.**

Innestare i terminali del transistor nelle rispettive boccole tenendo presente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore.

Innestare un ponticello tra le boccole 2-3 ed osservare lo strumento seguendo le istruzioni già date per la **Iceo**, tenendo presente che la **Ices** è sempre notevolmente inferiore alla **Iceo.**

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo « Considerazioni sulla Ices ».

Icer

Predisporre il tester sulla portata 500 μA, innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate **« STRUM »** osservando la

polarità chiaramente indicata sul TRANSTEST relativa sia ai transistor **P-N-P** che **N-P-N.**
Predisporre il commutatore del TRANSTEST sulla posizione **Iceo.**
Innestare i terminali del transistor nelle rispettive boccole, tenendo presente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore. Innestare un resistore del valore voluto tra le boccole 2-3 ed osservare lo strumento seguendo le istruzioni già date per la **Iceo,** tenendo presente che **Icer** è sempre inferiore alla **Iceo** ed è tanto più piccola quanto più è basso il resistore « R ».

Infatti per « R » = infinito Icer = Iceo
« R » = zero Icer = Ices

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo « Considerazioni sulla Icer ».

Vce sat

Predisporre il commutatore del TRANSTEST sulla posizione **h FE** 10 μA innestare i terminali del transistor nelle rispettive boccole tenendo presente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore.
Predisporre il tester sulla portata 2 V c.c., innestare le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate 1-3 tenendo presente che per transistori di tipo **P-N-P** alla boccola 3 deve corrispondere il terminale positivo ed alla boccola 1 il terminale negativo. Viceversa per transistori tipo **N-P-N.** Osservando lo strumento ruotare il commutatore verso i valori maggiori di base finchè l'indicazione dello strumento tende a raggiungere un minimo.
Per la maggior parte dei casi il minimo valore di tensione è di pochi millivolt, pertanto occorrerà passare sulla portata 100 mV, quando l'indicazione dello strumento scenderà sotto le 2,5 divisioni.
E' importante non caricare la base oltre il valore necessario; a tale proposito vedere il capitolo « **Considerazioni sulla Vce sat** ».

Vbe

Predisporre il commutatore dei TRANSTEST sulla posizione **IB** 10 μA, innestare i terminali del transistor nelle rispettive boccole tenendo pre-

sente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore.
Predisporre il tester sulla portata 2 V c.c. ed innestare le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate 2-3 tenendo presente che per transistori di tipo **P-N-P,** alla boccola 3 deve corrispondere il terminale positivo ed alla boccola 2 il terminale negativo. Viceversa per i transistor di tipo **N-P-N.** Ruotare il commutatore verso la corrente di base sotto la quale interessa conoscere il valore di tensione di base-emettitore e leggere sullo strumento il valore di tensione cercato.
Occorre tenere presente che la corrente di base viene modificata dalla presenza dello strumento e pertanto il valore reale della corrente diretta alla base è

IBR = IBN nd

IBR = corrente reale di base

IBN = corrente nominale di base (letta sul quadrante del TRANSTEST)

nd = numero di divisioni sulla scala cinquantesimale del tester (1 divisione = 1 μA)

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo « Considerazioni sulla misura di Vbe ».

h fe

Predisporre il tester sulla portata in milliampères più prossima per eccesso alla portata nominale di corrente del transistor, innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate « **STRUM** » osservando la polarità chiaramente indicata, relativa sia ai transistor **PNP** che **NPN.**
Predisporre il TRANSTEST sulla posizione **IB** 10 uA.
Innestare i terminali del transistor in prova nelle rispettive boccole, tenendo presente che il contrassegno « C » significa collettore, « B » base ed « E » emettitore.
Premere il tasto e leggere lo strumento sulla scala c.c. e commutare verso le correnti maggiori tenendo presente quanto segue:

Tester portata 5 mA

Ib	10 uA	h_{FE}	500 f.s.	=	10	per	div.
»	25 uA		200	=	4	per	div.
»	100 uA		50	=	1	per	div.
»	500 uA		10	=	0,2	per	div.

Tester portata 50 mA

Ib	10 uA	h_{FE}	5000 f.s.	=	100	per	div.
»	25 uA		2000	=	40	per	div.
»	100 uA		500	=	10	per	div.
»	500 uA		100	=	2	per	div.
»	1000 uA		50	=	1	per	div.

Tester portata 500 mA

Ib	100 uA	h_{FE}	5000 f.s.	=	100	per	div.
»	500 uA		1000	=	20	per	div.
»	1000 uA		500	=	10	per	div.
»	5000 uA		100	=	2	per	div.

Tester portata 5 A

Ib	1000 uA	h_{FE}	5000 f.s.	=	100	per	div.
»	5000 uA		1000	=	20	per	div.

Per maggiori ragguagli ed esempio pratico vedere il capitolo « Considerazioni e misure di h fe ».

h fe con Rbe

Procedere come detto nelle istruzioni per **h fe** innestando i terminali del resistore voluto, nella boccola contrassegnata 2-3.

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo « Considerazioni su h fe con Rbe ».

Vf

Predisporre il commutatore del **TRANSTEST** sulla posizione **DIODI F.**
Innestare i terminali del diodo in prova nelle boccole contrassegnate « C » « E» tenendo presente che il contrassegno « E » corrisponde al catodo e « C » all'anodo.

Predisporre il tester sulla portata 2 V c.c.. Innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole 1-3 tenendo presente che alla boccola 1 deve corrispondere il terminale positivo ed alla boccola 3 il terminale negativo. Leggere sullo strumento la tensione relativa.

N.B. - Durante questa prova il pulsante **non deve assolutamente** essere premuto.

Per maggiori ragguagli vedere il capitolo «Considerazioni sulla Vf».

Ir

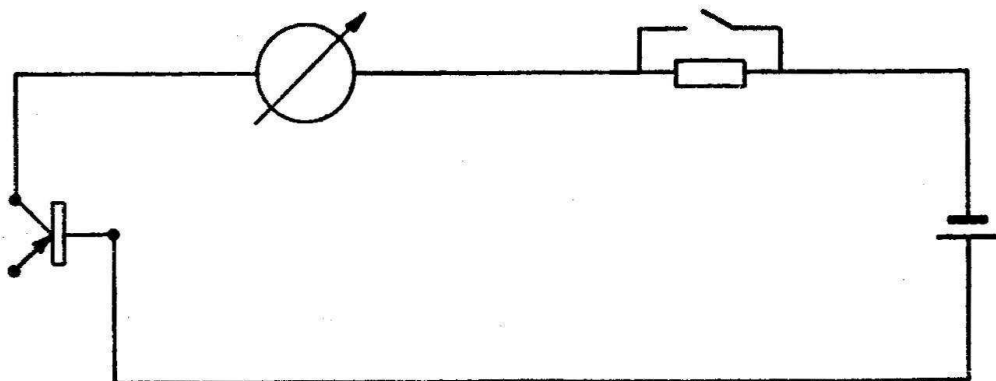
Predisporre il tester sulla portata 5 mA. Innestare a fondo le estremità libere dei puntali nelle boccole contrassegnate « Strum. » osservando la polarità chiaramente indicata.

Predisporre il commutatore del transtest sulla posizione **DIODI R** ed osservare lo strumento.

Se questo tende a fondo scala, il diodo è in corto circuito — altrimenti premere il pulsante ed eseguire la misura.

Se l'ago dello strumento non raggiunge il decimo di scala, passare sulla portata del tester 500 uA; se risultasse ancora inferiore al decimo di scala passare sulla portata 50 uA ed eseguire la lettura.

Per maggiori ragguagli riferirsi al capitolo « Considerazioni sulla Ir ».

DESCRIZIONE DELLE MISURE E SCHEMI RELATIVI

Schema di principio per la misura di **Icbo**

La misura di **Icbo** si effettua collegando in serie al collettore un microamperometro, il circuito si chiude attraverso la base, l'emettitore è aperto. Sia la base che il collettore sono inversamente polarizzati. La resistenza indicata nello schema è stata messa quale protezione per lo strumento qualora il transistor sotto controllo presentasse un corto circuito interno. E' opportuno escluderla per una più esatta misura dalla **Icbo,** particolarmente quando questa assume, come nel caso di transistori di potenza, un discreto valore di corrente (500 μA).
E' opportuno ricordare che in queste misure, come pure per le altre che seguono, è di estrema importanza la temperatura alla quale la misura viene effettuata. E' pertanto consigliabile di evitare di tenere il transistor premuto tra le dita durante la misura, soprattutto quando questo è di piccole dimensioni ed anzi a tale proposito è consigliabile trattare il transistor con una pinzetta.

CONSIDERAZIONI SULLA Icbo (Ico)

La Icbo è un elemento di fondamentale importanza in **un** transistor; **di essa va tenuto conto:**

— quando si deve calcolare un circuito in cui il punto di lavoro del transistor deve rimanere stabile sotto diverse condizioni di temperatura.

— quando il transistor deve lavorare ad alta temperatura, in quanto essa può raggiungere valori tali da pregiudicare la vita stessa del semiconduttore.

La **Icbo** nasce in modo abbastanza complesso in quanto non è generata da un solo elemento componente il cristallo ed in un solo punto ma si origina per quattro diverse cause ed in zone diverse.
Due di queste componenti sono influenzate solamente dalla temperatura: una di queste ha origine nella regione interna di base, l'altra ha origine sulla superficie della giunzione di base. La terza componente si genera alla superficie del transistor ed è dovuta ad impurità occasionali, umidità, ecc. Questa componente è influenzata solamente dalla tensione applicata e varia con questa in modo quasi proporzionale. La quarta componente ha origine nella regione di collettore (depletion region) e dipende sia dalla tensione applicata che dalla temperatura. Comunque la causa principale della **Icbo** è la temperatura (almeno fino alla tensione di breakdown, dove la tensione applicata è determinante) ed a questo proposito si può dire che per la maggior parte dei transistor al germanio il coefficiente di temperatura relativo alla **Icbo** è di circa 7,5% per variazione di grado centigrado. Praticamente si può dire che la **Icbo** di un transistor al germanio sottoposto a tensione costante (limitata il più possibile per le ragioni più avanti esposte) raddoppia ogni 10°C di aumento di temperatura alla giunzione.
Per esempio un transistor che presenta una **Icbo** di 10 μA a 20°C, presenterà una **Icbo** di 20 μA a 30°C, 40 μA a 40°C, 80 μA a 50°C, 160 μA a 60°C, 320 μA a 70°C ecc. Per i transistor al silicio la **Icbo** raddoppia ogni 6°C. Questo potrebbe far pensare che il transistor al silicio debba avere, ad alta temperatura, dei valori **Icbo** superiori a quelli del germanio, mentre invece abbiamo il contrario.
La ragione sta nel fatto che nel transistor al silicio a normali temperature ambiente la **Icbo** è dell'ordine dei millesimi di microampère (1×10^{-9} A).

La **Icbo** alle alte temperature può mantenere in conduzione un transistor anche quando questo è polarizzato inversamente alla base. Infatti in condizioni d'interdizione, tanto l'emettitore che il collettore sono polarizzati inversamente. Se la resistenza del circuito di polarizzazione di base presenta un'apprezzabile resistenza ne risulta che la **Icbo** sviluppa attraverso ad essa una tensione che tende a ridurre la tensione di polarizzazione inversa fino al punto di polarizzare direttamente e portare il transistor in conduzione. La conduzione potrebbe essere evitata riducendo la resistenza del circuito di polarizzazione, incrementando la tensione inversa di polarizzazione ed adeguando il transistor con adatti dissipatori. Inoltre quando un transistor è usato ad alta temperatura di giunzione (alta temperatura ambiente o alta dissipazione) è possibile che un fenomeno di autogenerazione termica abbia luogo (Thermal runaway) che può portare il transistor alla distruzione.

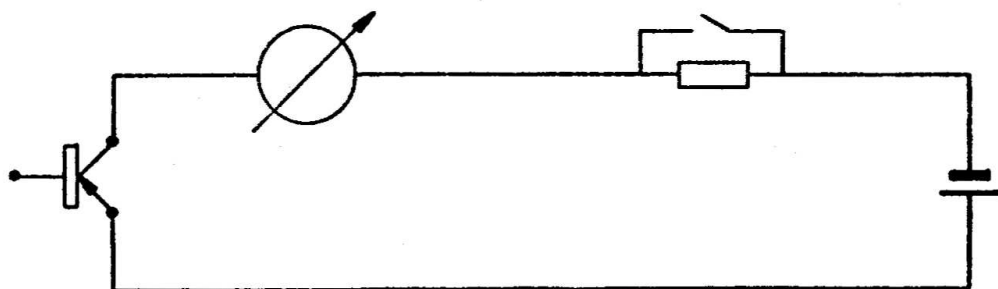
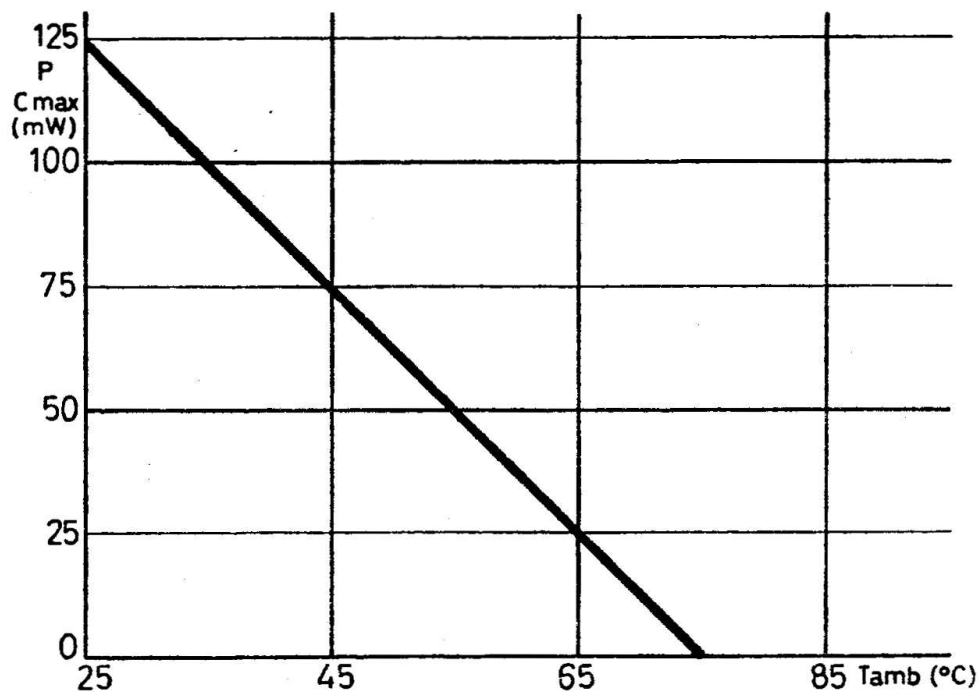
In un qualsiasi circuito la temperatura alla giunzione (Tj) è determinata dalla totale dissipazione di potenza nel transistor (P) della temperatura ambiente (Ta) e dalla resistenza termica (K) . $Tj = Ta + KP$.

Se la temperatura ambiente aumenta, la temperatura alla giunzione dovrebbe aumentare della stessa variazione in gradi centigradi, dal momento che la potenza dissipata dovrebbe rimanere costante. Invece, tanto **h fe** quanto **Icbo** aumentano con la temperatura; la corrente di collettore aumenterà e ne risulterà pure un incremento nella potenza dissipata.

Il fenomeno di autogenerazione termica con la conseguente distruzione del transistor avverrà quando il rapporto tra l'aumento di temperatura alla giunzione e la potenza dissipata è maggiore della resistenza termica ($\triangle Tj / \triangle P > K$).

Una limitazione alle condizioni che portano al Thermal Runaway è possibile sia riducendo la **Ico** con adatte polarizzazioni di compensazione, sia applicando al transistor adeguati dissipatori (Heat sink).

Diagramma rappresentante la riduzione della potenza dissipabile in un transistor al germanio in funzione della temperatura ambientale.

125
P
C max
(mW)
100
75
50
25
0
25 45 65 85 Tamb (°C)

Schema di principio per la misura di **Iceo**

La misura di **Iceo** si effettua collegando in serie al collettore un microamperometro; il circuito si chiude attraverso l'emettitore: la base è aperta.

Solo il collettore è inversamente polarizzato mentre l'emettitore è direttamente polarizzato. Questa è la ragione per cui la **Iceo** è generalmente molto maggiore della **Icbo.**

La resistenza indicata nello schema serve per protezione allo strumento qualora il transistor presentasse un corto circuito interno. E' opportuno escluderlo per una più esatta misura della **Iceo,** particolarmente nel caso di transistor di alta potenza.

CONSIDERAZIONI SULLA Iceo

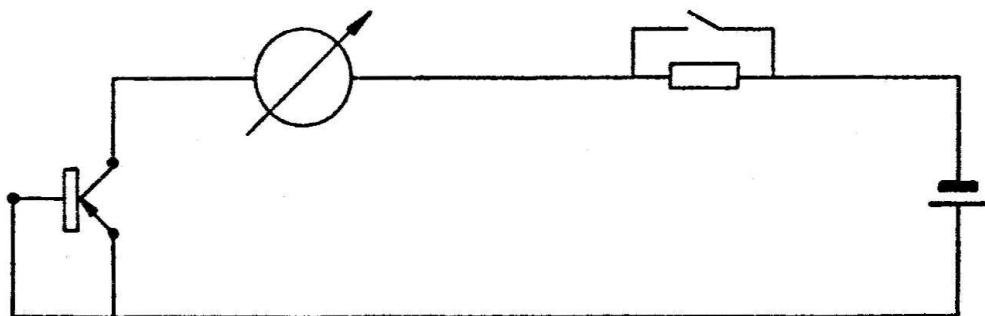
La **Iceo** è la corrente di dispersione di collettore che caratterizza i circuiti ad emettitore comune. Essa è legata alla **Icbo** per mezzo della seguente espressione

$$\mathrm{Iceo} = \frac{\mathrm{Icbo}}{1 - \alpha_n}$$

intendendo per α_n il rapporto tra la corrente di collettore e quella di emettitore in un circuito a base comune.

La **Iceo** è tanto maggiore della **Icbo** quanto maggiore è la **h Fe** iniziale del transistor.

Quanto è stato detto sulla **Icbo** è valido per la **Iceo** e pertanto tutte le precauzioni per evitare la conduzione spontanea e il Thermal runaway devono essere considerati tenendo presente che rispetto alla **Icbo** la **Iceo** è molto superiore.

Appare soprattutto evidente il particolare di quanto pericoloso per la vita del semiconduttore è l'inserzione in circuito del transistor con base aperta in ambiente ad alta temperatura.

Schema di principio per la misura di **Ices**

La misura di **Ices** si effettua collegando in serie al collettore un microamperometro; il circuito si chiude attraverso l'emettitore e la base cortocircuitati.

La resistenza indicata nello schema serve per protezione dello strumento qualora la giunzione di collettore presentasse un corto circuito. E' opportuno escluderla per una più esatta misura della **Ices**, particolarmente per transistor di alta potenza.

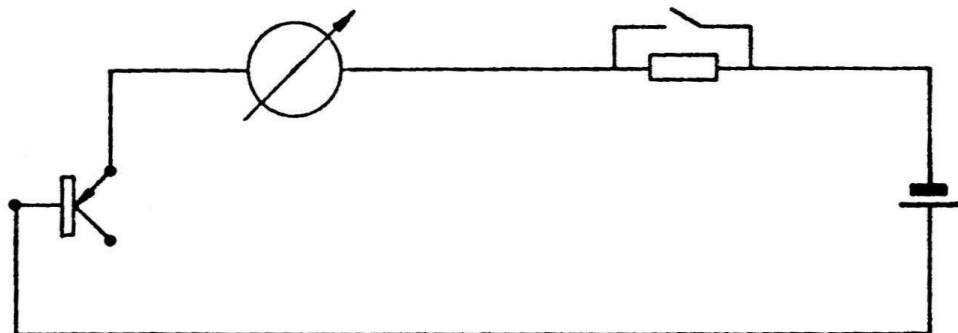
CONSIDERAZIONI SULLA Ices

La **Ices** è la corrente di dispersione di collettore con base ed emettitore cortocircuitati. Il suo valore è notevolmente inferiore rispetto alla **Iceo**. Infatti in questa prova viene controllata la sola giunzione di collettore trattata alla stregua di un diodo, essendo la giunzione di emettitore esclusa da qualsiasi influenza.

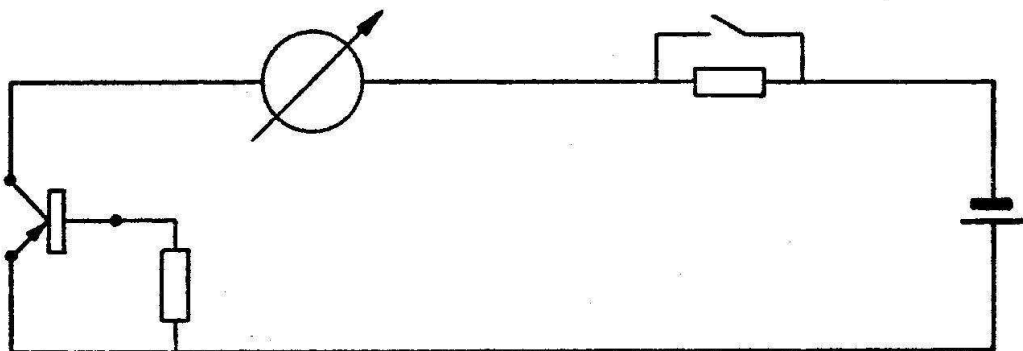
La misura di **Ices** unitamente a quella di **Icbo** e **Iceo** permettono con semplici passaggi di ottenere i valori di α_n e di α_i in quanto

$$\text{Iceo} = \frac{\text{Icbo}}{1 - \alpha_n}$$

$$\mathbf{Ices} = \frac{\mathbf{Icbo}}{1 - \alpha_n \alpha_i}$$

intendendo per α_n il rapporto tra la corrente di collettore e quella di emettitore in circuito a base comune e α_i come sopra, ma con emettitore al posto del collettore e viceversa.

Schema di principio per la misura di **Iebo (Ieo)**

La misura di **Iebo** si effettua collegando un microamperometro in serie all'emettitore; il circuito si chiude attraverso la base: il collettore è aperto. Sia la base che l'emettitore sono inversamente polarizzati.

La resistenza indicata nello schema è stata messa quale protezione per lo strumento qualora il transistor sotto controllo presentasse un corto circuito interno. E' opportuno escluderla per una più esatta misura della **Iebo**, particolarmente quando questa assume un discreto valore di corrente. Generalmente il valore della **Iebo** è, per un dato transistor, inferiore alla **Icbo.**

Schema di principio per la misura di **Icer**

La misura di **Icer** si effettua collegando in serie al collettore un microamperometro; il circuito si chiude attraverso l'emettitore; la base si chiude sull'emettitore attraverso una resistenza esterna di valore stabilito.

La giunzione di collettore è inversamente polarizzata, mentre quella di emettitore è direttamente polarizzata.

La resistenza indicata nello schema serve per protezione allo strumento qualora il transistor presentasse un corto circuito interno. E' opportuno escluderla per una più esatta misura della **Icer**, particolarmente per i transistor di maggior potenza.

CONSIDERAZIONI SULLA Icer

Nella maggior parte dei circuiti a emettitore comune, la base è collegata all'emettitore tramite un resistore di valore adeguato. Le ragioni che giustificano la presenza del resistore sono intuibili dalle osservazioni fatte precedentemente circa i parametri già citati.

E' pertanto estremamente utile, qualora il transistor debba lavorare sotto condizioni gravose, conoscere la **Icer** ad una data temperatura o almeno alla temperatura ambiente, oppure ridurre ovviamente il valore di **Rbe** fino a che la **Icer** si riduca al limite stabilito.

La **Rbe** ha pure una notevole influenza sulla **Vce** max del transistor. Infatti, come esposto più avanti, mediante grafico risulta che la **Vce** max deve essere ridotta fino a ⅓ del suo massimo valore quando il valore di **Rbe** supera una certa entità. Idealmente la **Rbe** dovrebbe tendere a zero, ma evidentemente viene turbata la caratteristica di amplificazione del transistor.

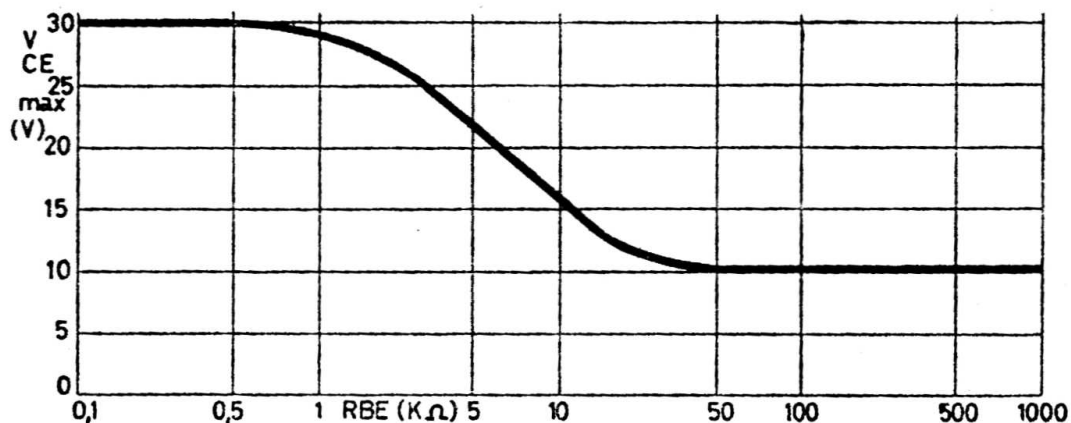
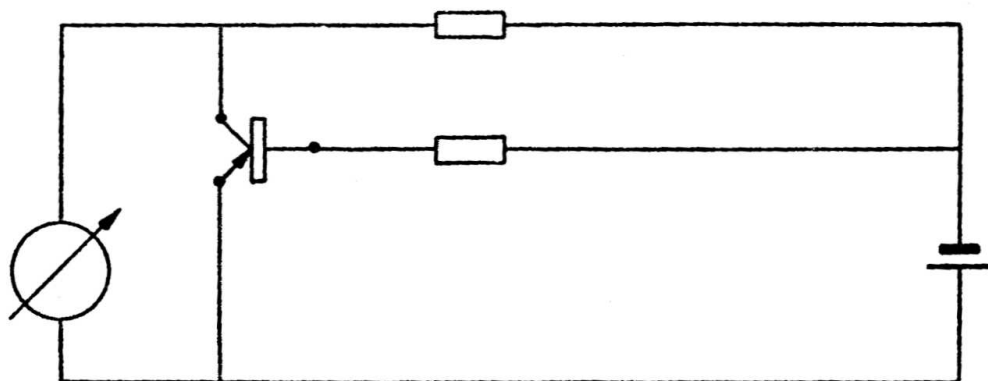



Diagramma rappresentante la riduzione **Vce** max in funzione della resistenza base emettitore in un transistor al germanio.

Schema di principio per la misura di **Vce** sat.

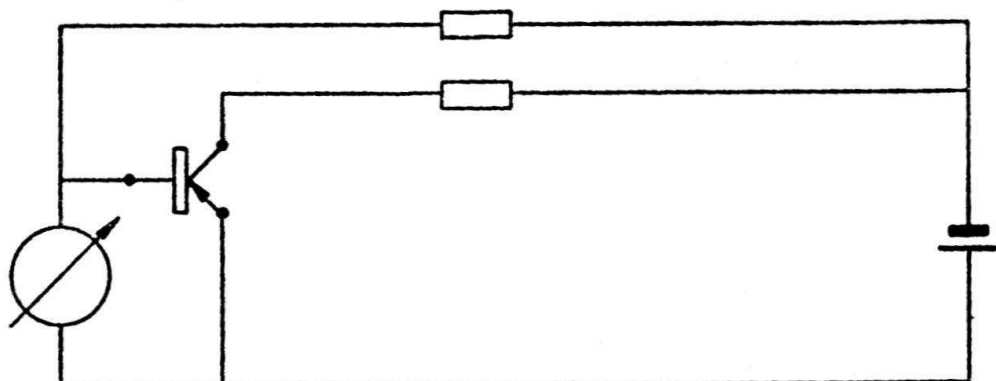
La misura di **Vce sat** si effettua collegando in parallelo al transistor tra collettore ed emettitore un voltmetro. Il resistore RL serve quale limitatore della corrente di collettore stabilita per un valore di 5 mA circa. Il valore di R_b è scelto secondo la corrente di base richiesta. Il valore di **Vce sat** è letto sul voltmetro predisposto sulla portata di 2 V o 100 mV.

CONSIDERAZIONI SULLA Vce sat

Quando un transitor viene impiegato in circuiti di commutazione il suo funzionamento è paragonabile a quello di un interruttore; è quindi di estrema importanza conoscere la tensione di saturazione ai suoi estremi. Infatti un interruttore ideale deve presentare una resistenza infinita quando è aperto ed una resistenza nulla quando è chiuso.
Nel transistor la prima condizione è limitata dalla **Iceo** (si parla di collegamento ad emettitore comune in quanto è il più usato per gli scopi accennati) ed a tale scopo riferirsi a quanto detto precedentemente sulla **Icer.**
La seconda condizione è limitata dalla resistenza di saturazione. In un buon transistor di media potenza al germanio del tipo per commutazione il valore di R sat può variare da 1 a 5 Ohm. La condizione di saturazione si raggiunge quando **Ib . h fe** $>$ **Ic** essendo **Ic** limitata da una resistenza esterna. La corrente di base deve essere maggiorata di almeno 3-4 volte il valore che verrebbe richiesto qualora la stessa corrente dovesse circolare senza resistenza di limitazione. Nelle condizioni di saturazione la tensione tra base ed emettitore è superiore a quella tra collettore ed emettitore, perciò nelle condizioni suddette ambedue le giunzioni sono direttamente polarizzate.
Per conoscere quale corrente di base si deve impiegare nel Transtest per saturare il transistor occorre conoscere il coefficiente di amplificazione **h fe** a 5 mA circa di collettore, ed applicare la formula

$$I_b > \frac{20}{h_{fe}} \qquad (I_b \text{ in mA})$$

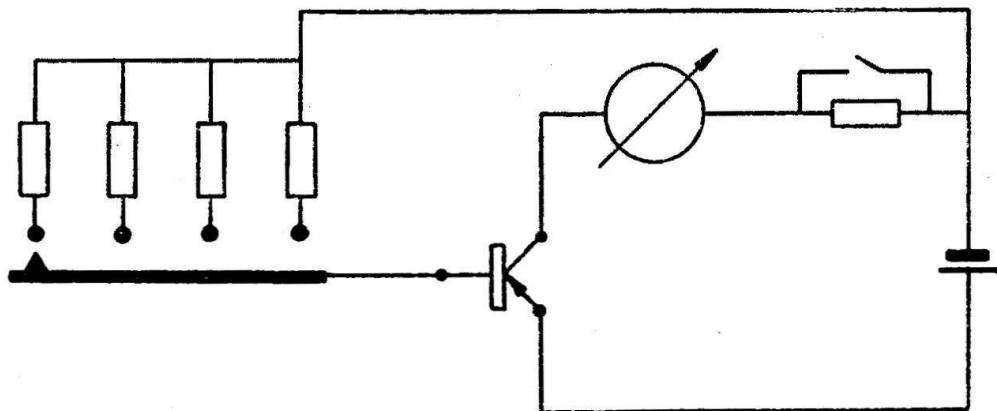
Il valore della resistenza di saturazione sarà:

$$Rce\ sat = \frac{V\ sat}{5 \cdot 10^{-8}} \qquad \begin{matrix} V\ in\ V \\ R\ in\ Ohm \end{matrix}$$

Schema di principio per la misura di **Vbe**.

La misura di **Vbe** si effettua collegando in parallelo tra la base e l'emettitore un voltmetro ad alta resistenza interna.
Il valore di **Rb** viene scelto in funzione del valore della corrente di base richiesta. Il valore di **Vbe** è letto mediante il voltmetro predisposto, nel caso del tester mod. 680/C sulla portata 2 V c.c.

CONSIDERAZIONI SULLA MISURA DI Vbe

La misura di **Vbe** per piccole correnti di base va eseguita tenendo presente alcune limitazioni in quanto la presenza del voltmetro collegato tra base ed emettitore turba con la sua resistenza le condizioni di prova. Di questa però se ne può tener conto: la portata 2 V c.c. del tester mod. 680/C è di 40'000 Ohm. Essa è tuttavia decisamente trascurabile per le prove di **Vbe** con transistor in saturazione. La corrente di base richiesta per portare in saturazione il transistor in prova nelle condizioni previste dal provatransistor non sono generalmente inferiori a 500 μA; si può perciò non tener conto della corrente derivata dal voltmetro.

La **Vbe** in un transistor saturato assume una notevole importanza nel calcolo di alcuni tipi di FLIP - FLOP dove l'impulso di sgancio avviene per annullamento della tensione di base nel transistor saturato.
Va tenuto inoltre presente che la **Vbe** è sensibile alle variazioni di temperatura: essa diminuisce con l'aumentare della temperatura ed il coefficiente relativo sia per transistor al germanio che al silicio è di circa 2 mV/°C.

Schema di principio per la misura di **h fe**

La misura di **h fe** si effettua collegando un milliamperometro in serie al collettore; il circuito si chiude attraverso l'emettitore. La base viene alimentata attraverso alcune resistenze il cui valore è stabilito in funzione delle correnti di base determinate. Il rapporto tra la corrente letta sul milliamperometro e la corrente di base prefissata da il valore di **h fe** del transistor.

CONSIDERAZIONI SULL'h fe E LA MISURA RELATIVA

Come già in precedenza detto il valore di **h fe** definisce il guadagno statico di corrente con uscita in cortocircuito, in circuito ad emettitore comune.

h fe non è costante per un dato transistor, ma è un'entità variabile in dipendenza di vari fattori. Essi sono: la temperatura, la corrente di emettitore, la tensione di collettore. Dai diagrammi relativi ai tre parametri citati si può notare che **h fe** aumenta con l'aumentare della temperatura, aumenta con l'aumentare della tensione di collettore, diminuisce fortemente con l'aumentare della corrente di emettitore per i transistor al germanio, mentre per la stessa causa si mantiene pressochè costante per i transistor al silicio.

La prova eseguibile con il dispositivo in oggetto permette di variare solamente la corrente di emettitore mediante la corrente di base.

In ordine a quest'ultima possibilità si è creduto utile corredare il provatransistor di varie correnti di base e pertanto la possibilità di variare la corrente di base nel transistor in prova permette di controllare il coefficiente di amplificazione statico di corrente in diversi punti della sua caratteristica e disporre così di dati estremamente utili, particolarmente quando si debbano accoppiare 2 transistor in un push-pull che lavorino in un determinato punto della caratteristica. Non è infrequente il caso in cui 2 transistor presentino il medesimo **h fe** a bassa corrente ed un coefficiente notevolmente diverso a forte corrente e viceversa.

Inoltre la possibilità di selezione dei diversi valori di corrente di base permettono di adattare quest'ultima ad un valore pratico d'impiego in funzione alle differenti prestazioni e potenze dei transistor in esame.

Le correnti di base sono state scelte in modo da facilitare la lettura del coefficiente **h fe** sulla scala del tester mod. 680/C. Esse sono:

10 μA   25 μA   100 μA   500 μA   1 mA   5 mA

Occorre però far notare che questa gamma di correnti di base richiedono da parte dell'operatore una certa oculatezza: è evidente che un transistor di piccola potenza con **h fe** di 30 ÷ 50 e corrente di collettore di 12 mA non debba essere assolutamente controllato con corrente di base superiore a 500 μA; correnti di base alte sono tollerabili, entro certi limiti, solo nel caso della prova della tensione di saturazione come pre-

cedentemente detto nel relativo capitolo. Dato che la prova di **h fe** deve essere eseguita con uscita cortocircuitata, ragion per cui la resistenza di protezione deve essere esclusa premendo il pulsante, l'unica resistenza in circuito è quella dello strumento del valore relativamente basso per cui la maggior parte della tensione di alimentazione appare ai capi del transistor. Pur essendo la tensione di alimentazione relativamente bassa (3 V) può sempre far dissipare nel transistor una potenza eccessiva se questo è percorso da una relativa forte corrente.

Ci riferiamo, per citare un esempio, ancora una volta al transistor OC70. Sappiamo che la temperatura massima sopportabile dalla giunzione sono 75°C — supponiamo che la temperatura ambiente alla quale il transistor viene provato sia 25°C il Δ t tollerabile è 50°C — il coefficiente « K » relativo all'aumento di temperatura per mW dissipato dal transistor è = 0,4°C/mW

$$\text{pertanto} \quad \frac{50}{0,4} = 125 \text{ mW dissipabili}$$

Detraendo la caduta di tensione di 0,2 V circa del milliamperometro, la tensione ai capi del transistor è di

$$3 - 0,2 = 2,8 \text{ V}$$

la massima corrente tollerata è

$$\frac{0,125}{2,8} = 44 \text{ mA}$$

è però evidente che questa è una condizione limite che non deve essere assolutamente raggiunta, particolarmente perchè i valori letti sarebbero notevolmente alterati rispetto al normale impiego.

I coefficienti di amplificazione statici di corrente riscontrabili nei transistor attualmente in commercio variano da 10 a 100, ma in tipi speciali realizzati con le più recenti tecnologie superano in parecchi casi il 250; questo valore potrà essere nel prossimo futuro largamente superato ed il nostro dispositivo, come si vedrà più avanti, è in grado di misurare qualsiasi coefficiente senza limitazioni.

Il rapporto tra la portata scelta sul tester e la corrente di base selezionata dà il coefficiente di amplificazione, che sarà direttamente leggibile sulla scala dell'indicatore:

corrente Ib	portata scelta sul tester	coefficiente h fe a fondo scala
10 μA	50 μA	5
»	500 »	50
»	5 mA	500
»	50 »	5000
25 μA	500 μA	20
»	5 mA	200
»	50 »	2000
100 μA	500 μA	5
»	5 mA	50
»	50 »	500
»	500 »	5000
500 μA	5 mA	10
500 »	50 »	100
500 »	500 »	1000
1 mA	5 mA	5
»	50 »	50
»	500 »	500
5 mA	50 »	10
»	500 »	100
»	5 A	1000

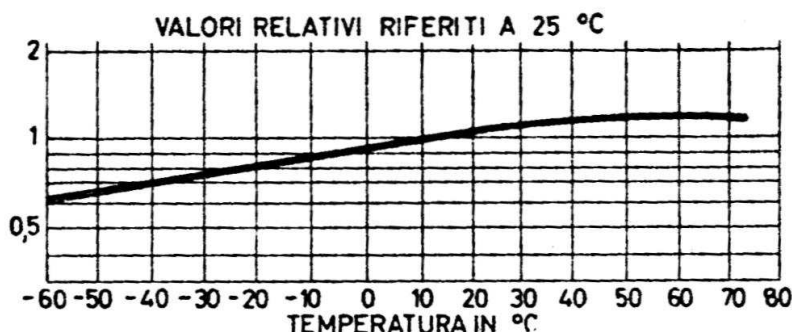
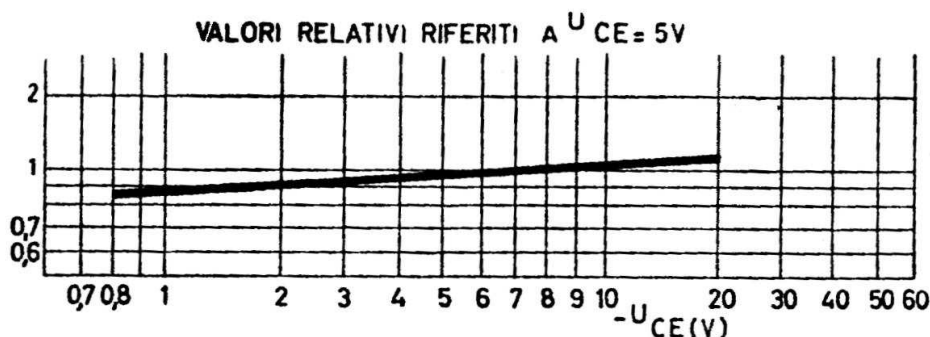
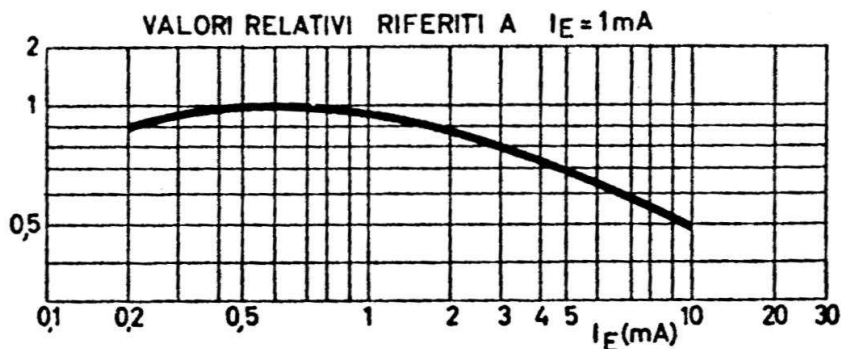
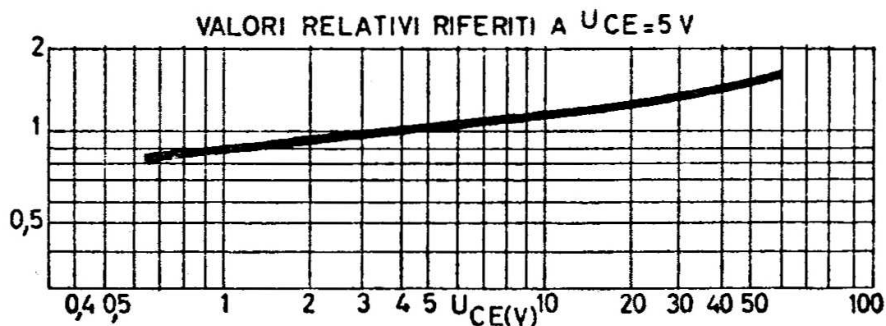
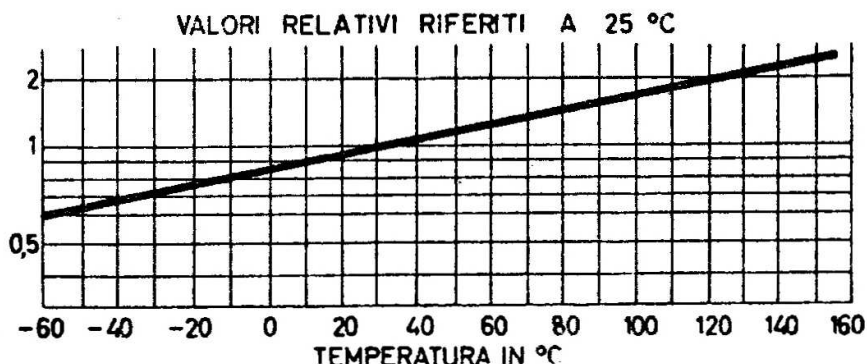
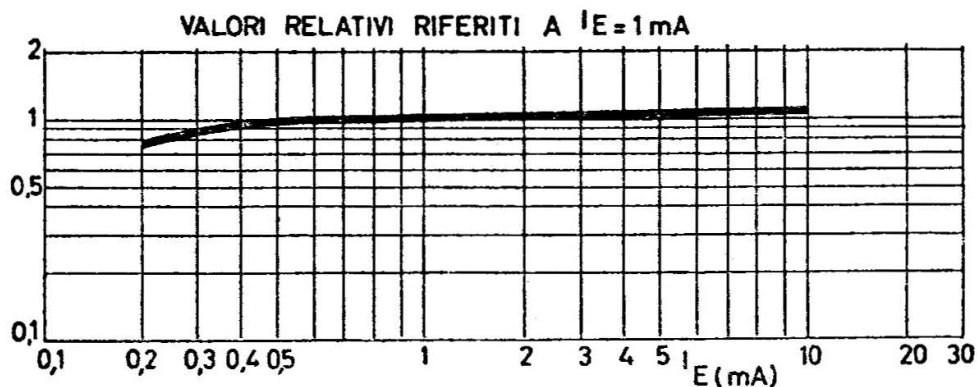
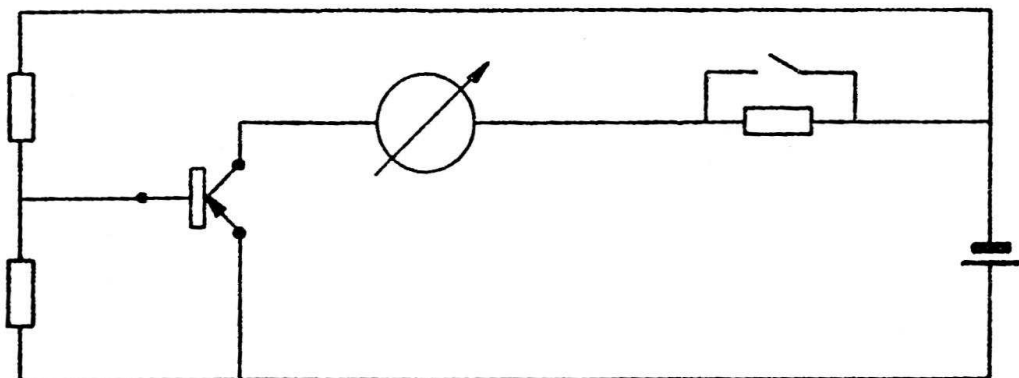
Da come esposto nella tabella di cui sopra le correnti di base sono tali da rendere possibile il controllo di transistor di potenza. Occorre però tenere presente che una forte erogazione di corrente da parte della pila interna, essendo questa di piccola capacità, comporterebbe una rapida messa fuori uso della stessa. E' stata pertanto prevista una presa per sorgente esterna, grazie alla quale è possibile inserire una batteria di forte capacità escludendo contemporaneamente la pila interna.

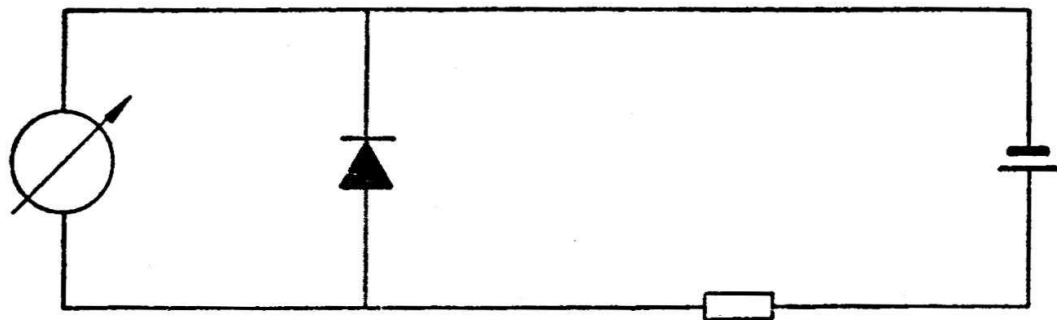
A titolo esemplificativo poniamo il caso di un transistor di piccola potenza di cui si voglia misurare il coefficiente di amplificazione di corrente ed il cui valore di **h fe** previsto si trovi compreso tra il 30 cd il 100.

Predisponiamo il tester sulla portata di 5 mA selezionando la corrente di base 10 μA — **l'h fe** leggibile a fondo scala sarà $\frac{5000}{10} = 500$ — premere il pulsante che esclude la **RL**, — l'indice dello strumento, se non c'é interruzione nel transistor, si sposterà tra lo zero ed il fondo scala — leggendo sulla scala 500 c.c. del tester noi avremo direttamente il coefficiente cercato.

Qualora l'indicazione dovesse trovarsi al disotto del decimo di scala, passeremo sulla portata 500 μA, per cui il coefficiente leggibile sarà $\frac{500}{10} = 50$ e leggendo sulla scala 50 c.c. del tester avremo direttamente l' **h fe** cercato. Se la lettura dovesse ancora essere al di sotto del decimo di scala (transistor alterato) passare sulla portata 50 μA con costante di lettura a fondo scala $\frac{50}{10} = 5$ per cui leggendo sulla scala 5 c.c. del tester avremo direttamente il coefficiente cercato.

La prova può essere ripetuta per la corrente di base di 25 μA e di 100 μA ecc. fino a quando il passaggio di corrente nel collettore è tale da essere sopportata dal transistor in prova.

DIAGRAMMI h fe IN FUNZIONE DI Vce - Ie - E TEMPERATURA

Relazione del parametro **h fe** con la temperatura per transistor al germanio.

Relazione del parametro **h fe** con la tensione di collettore per transistor al germanio

Relazione del parametro **h fe** con la corrente di emettitore per transistor al germanio

Relazione del parametro h fe con la tensione di collettore per transistor al silicio.

Relazione del parametro h fe con la temperatura per transistor al silicio.

Relazione del parametro h fe con la corrente di emettitore per transistor al silicio

Schema di principio per la misura di **h fe** con resistore tra base ed emettitore.

La misura di **h fe** con **Rbe** si effettua collegando un milliamperometro in serie al collettore — il circuito si chiude attraverso l'emettitore. La base viene alimentata attraverso alcune resistenze il cui valore è stabilito in funzione della corrente di base determinata, della quale una parte viene deviata attraverso il resistore **Rbe**.
Il rapporto tra la corrente letta sul milliamperometro e la corrente di base prefissata dà il valore reale dell'**h fe**.
Si è già parlato in precedenza nel capitolo riguardante la misura di **Icer**, dell'importanza della resistenza **Rbe** in circuito. Si è anche detto che idealmente **Rbe** dovrebbe tender a zero, particolarmente quando il transistor deve lavorare in condizioni spinte. Bisogna però considerare che la presenza del resistore citato modifica le condizioni del transistor nei confronti dell'**h fe** nominale. Infatti la corrente di base stabilita da **Rb** viene parzialmente deviata da **Rbe** e pertanto il coefficiente reale di amplificazione statico del circuito viene evidentemente ridotto.
Il dispositivo di prova prevede la misura nelle condizioni suddette ed il procedimento di misura è simile a quello descritto nel precedente capitolo per la misura di **h fe,** salvo che un resistore scelto dal progettista, in considerazione a quanto detto nel capitolo relativo alla **Icer**, viene inserito tra base ed emettitore.

Schema di principio per la misura di **Vf**

La misura di **Vf** si effettua collegando un resistore di valore adeguato in serie al diodo in prova polarizzato direttamente. Il voltmetro ad alta sensibilità è collegato in parallelo al diodo di cui ne misura la caduta di tensione. La corrente in circuito è stabilita a 5 mA.

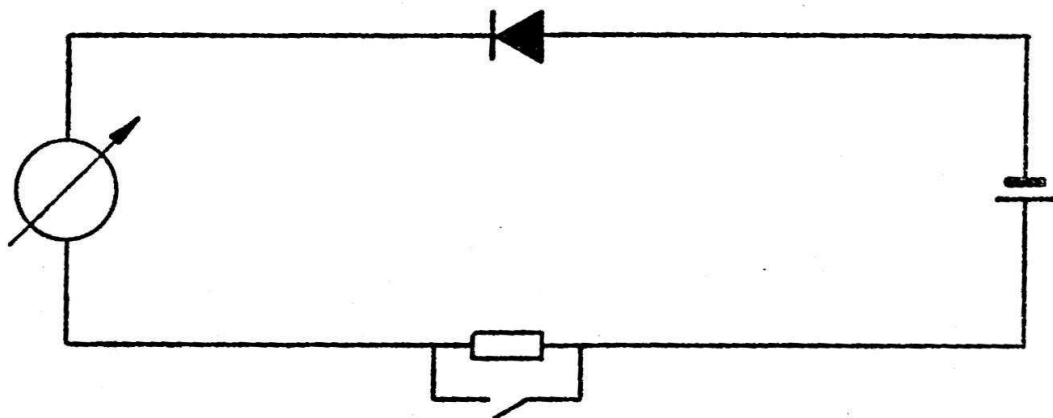
CONSIDERAZIONI SULLA Vf

In ordine al concetto fondamentale del diodo ideale per il quale esso deve presentare due stati distinti e cioè infinita conducibilità nel caso di polarizzazione diretta ed infinita resistenza nel caso di polarizzazione inversa. Risulta evidente che l'efficienza di un diodo è inversamente legata alla caduta di tensione che presenta ai suoi estremi, quando percorso da corrente in senso diretto: tanto minore è la caduta di tensione, tanto maggiore è il suo grado di efficienza.
Data però la sua caratteristica esponenziale, la **Vf** non è direttamente proporzionale alla corrente che lo attraversa, pertanto il valore di **Vf** deve essere sempre riferito ad una determinata **If.** Nel nostro caso la **If** è 5 mA, valore medio che si presta per la maggior parte dei diodi di piccola potenza, ma che contemporaneamente permette una sufficiente apprezzabilità per diodi di maggior potenza. La **Vf** è inoltre strettamente legata alla temperatura; la formula che la governa è relativamente complessa. Riteniamo più utile citare qualche caso pratico:

Diodo al silicio OA 200

Vf nominale a 25°C per If 5 mA = 0,75 V
Vf nominale a 100°C per If 5 mA = 0,63 V

Diodo al germanio OA 95

Vf nominale a 25°C per If 5 mA = 0,75 V
Vf nominale a 60°C per If 5 mA = 0,65 V

Schema di principio per la misura di **Ir**

La misura di **Ir** si effettua collegando un microamperometro in serie al diodo inversamente polarizzato. Il resistore **Rp** ha funzione protettiva nei confronti dello strumento nel caso di corto circuito del diodo. Il resistore dovrebbe essere escluso per una miglior misura di **Ir**, particolarmente quando questa raggiunge valori rilevanti (diodi di potenza). Lo strumento di appropriata sensibilità indicherà direttamente il valore di **Ir**.

CONSIDERAZIONI SULLA Ir

Come detto nel capitolo precedente relativamente al diodo ideale, è evidente che l'efficienza del diodo è legata alla **Vf** quanto alla **Ir.** Per tanto minore è la **Ir**, maggiore è l'efficienza del diodo. La **Ir** è però legata alle dimensioni del diodo cioè alla sua potenza: tanto maggiore è la portata diretta del diodo, tanto maggiore è, a parità di tensione inversa, la sua **Ir.** Una eccessiva **Ir** può portare alla distruzione del diodo per l'effetto di autogenerazione termica (thermal runaway) già citato nei capitoli riguardanti i transistor.

La **Ir** è estremamente sensibile alle variazioni di temperatura, essa generalmente decuplica per un aumento di temperatura di 40°C.

In via generale, a bassi valori di tensione (Vr) la **Ir** è proporzionale alla radice quadrata della tensione applicata; aumentando la tensione ad un certo valore chiamato « breakdown voltage », la corrente aumenta rapidamente e se non è limitata da un resistore esterno distrugge il diodo.

La caratteristica del breakdown è molto netta per diodi al silicio, particolarmente per i diodi denominati ZENER nei quali il breakdown è sfruttato quale elemento fondamentale nella realizzazione di dispositivi stabilizzatori di tensione. Il breakdown è molto meno netto per i diodi al germanio.

In questi ultimi, dato la loro maggior sensibilità della **Ir** alla tensione applicata ed in considerazione della loro resistenza termica, la **If** e pertanto la prestazione diretta del diodo, deve essere generalmente ridotta in funzione della tensione inversa applicata, per cui un diodo, ad esempio: OA 95, con **If** = 50 mA per VR 100 V Ta = 25°C viene ridotto a **If** = 20 mA per VR 100 V Ta = 50°C e ulteriormente ridotto a **If** = 5 mA per VR 100 V Ta = 75°C

Questi ultimi dati esprimono praticamente quale importanza abbia la **Ir** in relazione al corretto funzionamento dei diodi in circuito.

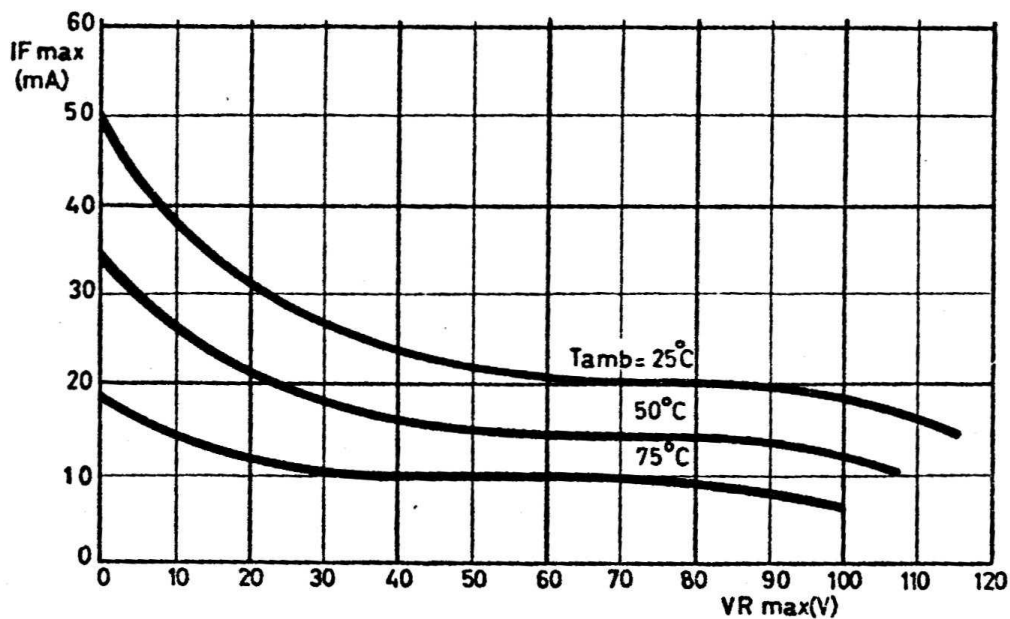



Diagramma rappresentante la riduzione della corrente massima in funzione della tensione inversa e della temperatura ambiente per diodo al germanio.

CLAUSOLE DI GARANZIA

La I.C.E. - Industria Costruzioni Elettromeccaniche - Milano (Italy) - garantisce che ogni strumento od altra apparecchiatura uscente dai propri stabilimenti è esente da difetti di lavorazione o di materiali per quanto si riferisce alle normali condizioni di impiego e di servizio, limitando tale garanzia all'impegno di rimettere in perfette condizioni di funzionamento qualsiasi strumento od altra apparecchiatura che entro 180 giorni dalla consegna all'acquirente originale venga ritornato con porto pagato intatto alla fabbrica o ad una delle sue agenzie autorizzate, e che a giudizio dei propri tecnici risulti essere effettivamente difettoso di fabbricazione. La presente garanzia sostituisce qualsiasi altra, espressa od implicita, ed ogni altro obbligo e responsabilità. La I.C.E. - Industria Costruzioni Elettromeccaniche - non assume nè autorizza terze persone ad assumere per essa altre responsabilità in relazione alla vendita dei suoi prodotti
La presente garanzia non si riferisce a strumenti od altre apparecchiature il cui sigillo di garanzia sia stato manomesso o che siano stati riparati od alterati fuori dai nostri stabilimenti o dai laboratori delle nostre agenzie autorizzate. Così pure se siano stati sottoposti a trattamento inadeguato, se siano stati adoperati negligentemente, se siano stati oggetto di danneggiamenti, se siano stati erroneamente collegati, installati o usati non in accordo con le istruzioni impartite dalla fabbrica.
Resta esclusa ogni nostra responsabilità per danni diretti o indiretti di qualsiasi causa o accidente che dovessero subire sia persone che cose durante l'impiego delle apparecchiature o materiali fabbricati nei nostri stabilimenti. Per ogni controversia è competente il Foro di Milano.

La I.C.E. produce pure:

Esposimetri MULTILUX
Amperometri
Amperometri a Tenaglia
Milliamperometri
Microamperometri
Strumenti autoregolatori
Galvanometri
Voltmetri
Strumenti antiurto
Wattmetri
Termometri istantanei
Pirometri
Frequenzimetri ad indice
Luxmetri
Misuratori d'isolamento

Strumenti a chiusura stagna
Frequenzimetri a lamelle
Cosfimetri
Strumenti con scala a 270°
Relais
Trasformatori di misura
Derivatori
Interruttori ad intensità luminosa
Decadi
Resistenze campione
Ponti di Wheatstone
Registratori da 1 a 6 curve
Tester analizzatori 100.000 Ω x V
Flussometri
Strumenti Campione da Laboratorio

LISTINI GRATUITI A RICHIESTA

I. C. E. | INDUSTRIA COSTRUZIONI ELETTROMECCANICHE
MILANO - ITALY